

J I E G O U G O N G C H E N G S H I

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

高层建筑结构与高耸结构

赵鸿铁 主编



中国建筑工业出版社

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

高层建筑结构与高耸结构

赵鸿铁 主编

赵鸿铁 史庆轩 陈 平 薛建阳 编

童岳生 主审

中国建筑工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书. 高层建筑结构与高耸结构/赵鸿铁主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2003

ISBN 7-112-05785-X

I. 一… II. 赵… III. 高层建筑—建筑结构—建筑师—资格考试—自学参考资料 IV. TU3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 031739 号

本书为一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书之一。全书共八章。内容包括: 高层建筑结构设计的原则及一般规定; 荷载作用与作用效应组合; 框架结构; 剪力墙结构设计; 框架-剪力墙(筒体)结构; 框筒及筒中筒结构; 高层建筑钢结构设计; 高耸结构。书中附有大量的例题、思考题和习题。

本书除供注册结构工程师考生使用外, 也可供大专院校师生及工程技术人员参考。

* * *

责任编辑 咸大庆 郭栋

一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书

高层建筑结构与高耸结构

赵鸿铁 主编

赵鸿铁 史庆轩 陈 平 薛建阳 编

童岳生 主审

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

新华书店经销

北京中科印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 $\frac{3}{4}$ 字数: 256 千字

2003 年 5 月第一版 2003 年 6 月第一次印刷

印数: 1—8000 册 定价: 18.00 元

ISBN 7-112-05785-X

TU·5082(11424)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

前 言

为了配合全国一、二级注册结构工程师专业考试,特编写本书。本书为全国一、二级注册结构工程师专业考试复习丛书之一。全书介绍了高层建筑结构设计原则、方案布置与选择、荷载计算与内力分析、构件截面计算及设计构造要求等。本书的编写是根据一、二级注册结构工程师专业考试大纲的要求,紧扣现行国家设计规范(规程),均按最新颁布的新规范编写。着重介绍钢筋混凝土高层建筑结构设计原理与方法;同时也概要介绍了近年来开始较多采用的高层民用建筑钢结构以及具有特殊功能的高耸结构的结构选型、设计原则与设计方法。

全书分为八章,由西安建筑科技大学赵鸿铁、陈平、史庆轩和薛建阳编写完成。具体分工是:第一、八章——赵鸿铁;第五、六、七章——陈平;第二、四章——史庆轩;第三章——薛建阳。全书由赵鸿铁教授主编,资深教授童岳生先生审阅了全书。编写过程中周建中、王彦宏博士生协助工作,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限以及时间仓促,差错和不足在所难免。恳切希望读者提出宝贵指正意见。但愿本书对报考一、二级注册结构工程师考试的同志们及工程界人士有一点帮助与参考作用,编者即感十分欣慰。

目 录

第一章 高层建筑设计的原则及一般规定	1
第一节 概述	1
第二节 设计基本原则	1
第三节 结构体系	2
第四节 结构布置	5
第五节 其他重要规定	11
思考题	15
第二章 荷载作用与作用效应组合	17
第一节 竖向荷载	17
第二节 风荷载	21
第三节 地震作用的计算	30
第四节 裹冰荷载	42
第五节 荷载效应和地震作用效应的组合	43
思考题	46
习题	47
习题参考答案	47
第三章 框架结构	49
第一节 框架结构的布置与计算简图	49
第二节 框架结构的内力和侧移计算	50
第三节 框架的内力组合及最不利内力	66
第四节 框架结构构件截面设计	67
第五节 构造要求	72
第六节 框架结构在罕遇地震作用下的弹塑性变形验算	84
思考题	89
习题	90
习题参考答案	92
第四章 剪力墙结构设计	93
第一节 结构布置	93
第二节 剪力墙结构分析	96
第三节 剪力墙截面设计	106
第四节 连梁截面设计	114
思考题	117
第五章 框架-剪力墙(筒体)结构	118
第一节 框架-剪力墙(筒体)结构的布置	118
第二节 框架-剪力墙(筒体)结构的简化计算方法	120
第三节 框架-剪力墙(筒体)结构的构件设计	125

思考题	125
第六章 框筒及筒中筒结构	127
第一节 计算方法	127
第二节 内力及变形分布规律	128
第三节 布置要点及其应用	129
第四节 构件配筋设计	132
思考题	133
第七章 高层建筑钢结构设计	134
第一节 基本设计规定及结构布置	134
第二节 结构类型及结构体系	139
第三节 结构构件内力调整及构件设计	142
第四节 节点设计	145
第八章 高耸结构	147
第一节 概述	147
第二节 钢塔架和桅杆的计算与构造	149
第三节 钢筋混凝土圆形塔	154
第四节 关于高耸结构的其他重要规定与构造要求	158
思考题	161
参考文献	163

第一章 高层建筑设计的原则及一般规定

第一节 概 述

本书所述高层建筑,除高层钢结构建筑及高耸结构分章叙述外,其余均主要指高层钢筋混凝土结构建筑。

高层建筑及高耸结构的设计分别应符合《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)、《高层民用建筑钢结构技术规程》及《高耸结构设计规范》(GBJ 135—90)。除了这些规范、规程有专门规定之外,高层建筑设计时,尚应遵守相关的规范,如《混凝土结构设计规范》(GB 50010—2002)、《钢结构设计规范》、《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2002)和《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)等。

《高层建筑混凝土结构技术规程》(以后简称《高规》)规定 10 层及 10 层以上或房屋高度超过 28m 的钢筋混凝土结构建筑属于高层钢筋混凝土建筑。房屋高度是指室外地面至主要屋面的高度,不包括局部突出屋面的电梯机房、水箱、构架等高度。

《高规》中用黑体字印刷的条文属于强制性条文,必须严格执行。《高规》既适用于非地震区建筑,也适用于设防烈度为 6~9 度的高层民用建筑抗震设计。抗震设防烈度一般可采用中国地震烈度区划图规定的基本烈度;对已编制抗震设防区划的地区,可按批准的抗震设防烈度或设计地震动参数进行抗震设防。

高层建筑设计尤其是在高层建筑抗震设计中,应当非常重视概念设计。这是因为高层建筑结构的复杂性,发生地震时地震动的不确定性,人们对地震时结构响应认识的局限性与模糊性,高层结构计算尤其是抗震分析计算的精确性,材料性能与施工安装时的变异性以及其他不可预测的因素,致使设计计算结果(尤其是经过实用简化后的计算结果)可能和实际相差较大,甚至有些作用效应至今尚无法定量计算出来。因此在设计中,虽然分析计算是必须的,也是设计的重要依据,但仅此往往不能满足结构安全性、可靠性的要求,不能达到预期的设计目标。还必须非常重视概念设计。从某种意义上讲,概念设计甚至比分析计算更为重要。

概念设计是通过无数的事例分析,历年来国内外震害分析,模拟试验的定量定性分析以及长期以来国内外的设计与使用经验分析、归纳、总结出来的。而这些原则、规定与方法往往是基础性、整体性、全局性和关键性的。有些概念设计的要求,为整个设计设置了二道防线,保证了建筑物的安全、可靠。合理优秀的结构方案是安全可靠的优秀设计的基本保证。

本章所述的主要内容,基本都是属于概念设计的重要部分。

第二节 设计基本原则

高层建筑设计中应符合安全适用、技术先进、经济合理、方便施工的原则。

因为建筑物首先是为了使用的,因此对于不同类型建筑物必须满足使用功能的要求。住宅、办公楼、商场、宾馆、剧院、车站、机场、医院、学校等各种类型的建筑,他们的使用功能有着很大的区别。如果建筑物不能或不能很好满足他们的使用功能,则建造起来的建筑将是废品或者次品。

建筑同时又体现出社会的文化艺术。建筑设计中往往采用许多建筑艺术手法,体现出社会与时代的艺术气息。结构设计应当配合与保证建筑设计的很好实现,能够准确反映出建筑设计师所要表现的建筑艺术要求。

结构设计必须确保使用者在正常使用时的安全,而且在遇到可能预料的各种灾害时,使生命财产的损失减少到最小程度。为此结构设计方案应当尽量做到受力明确、利于计算、便于计算、减小作用效应、增加结构构件抗力,利于与非结构构件可靠连接,不易破坏、脱落与坍塌。

建筑物的使用尚有采光、通风、采暖、温湿度调节、供水、排水、照明、通讯以及提供动力等要求,因此高层结构的设计应和相关专业密切配合,便于多种管线、设备及设施的设计与施工安装。

高层结构的设计应有先进性,尽量采用先进的、高科技的材料,设备与施工安装方法。

第三节 结 构 体 系

高层建筑的结构体系主要有框架结构;剪力墙结构,包括部分框支-剪力墙结构;框架-剪力墙结构;筒体结构,包括框架-核心筒结构、筒中筒结构;复杂高层结构,包括带加强层和刚臂结构、错层结构、连体结构、多塔楼结构等;以及混合结构,即由多种材料构件如钢筋混凝土构件、钢构件、组合结构构件(钢管混凝土构件、型钢混凝土构件及组合梁等)构成的结构。

高层建筑结构应根据房屋的高度、高宽比、抗震设防类别、抗震设防烈度、场地类别、结构材料和施工技术条件等因素,选用适宜的结构体系。

一、框架结构体系

由框架梁、柱、楼板等主要构件组成。其特点是柱网布置灵活,便于获得较大的使用空间。延性较好。横向侧移刚度较小。因此适用需要大空间的、层数不宜太多、房屋的高度不宜太高的建筑,例如商场、车站、展览馆、停车库、宾馆的门厅、餐厅等。

框架应当纵横双向布置,形成双向抗侧力体系。

二、剪力墙结构体系

剪力墙承受竖向荷载及水平荷载的能力都较大。其特点是整体性好,侧向刚度大,水平力作用侧移小,并且由于没有梁、柱等外露与凸出,便于房间内部布置。缺点是不能提供大空间房屋。结构延性较差。

当地下室或下部一层、几层,需要大空间时(如商场、停车库等)即形成部分框支剪力墙结构。在框架-剪力墙结构和剪力墙结构两种不同结构的过渡层必须设置转换层。

剪力墙结构由于承受竖向力、水平力的能力均较大,横向刚度大,因此可以建造比框架结构更高、更多层数的建筑。但是只能以小房间为主的房屋,如住宅、宾馆、单身宿舍。而宾馆中需要大空间的门厅、餐厅、商场等往往设置在另外的建筑单元中。

为了适用任何方向的水平力(或地震作用),因此对于矩形平面,剪力墙在纵横双向均应设置;对于圆形平面,剪力墙应沿径向及环向设置;三角形平面,宜沿三个主轴方向设置剪力墙。

三、框架-剪力墙结构体系

由于框架结构的主要特点是能获得大空间的房屋,房间布置灵活。而其主要弱点是侧向刚度较小,侧移较大。而剪力墙结构侧向刚度大,可减小侧移。但是全剪力墙结构无法布置大空间房屋。因此,框架-剪力墙结构体系恰好是对两者取长补短,既能布置大空间房屋与小空间房屋,布置灵活,又具有较大的侧向刚度,弥补纯框架结构之不足,所以广泛用于层数较多、房屋总高较高的建筑,而且可以灵活布置大小空间房间,适应较多的建筑功能要求。

对于地震区建筑来说,框架-剪力墙结构具有两道抗震防线即剪力墙与框架。

框架-剪力墙结构的主要缺点,由于功能要求,剪力墙布置位置往往受到限制,往往不可避免地造成刚心、质心不重合,产生偏心扭矩。同时其侧向刚度还是偏小,房屋建造高度受到限制。

四、筒体结构体系

筒体结构包括框架-核心筒结构与筒中筒结构。

框架-核心筒结构由实体的核心筒和筒外框架构成。一般将楼电梯间及一些服务用房集中在核心筒内;其他需较大空间的办公用房、商业用房等布置在外框架部分。由于核心筒实际上是两个方向的剪力墙构成封闭的空间结构,具有更好的整体性与抗侧刚度。

框架-核心筒结构体系适用于高度较高,功能较多的建筑。

筒中筒结构是由实体的内筒与空腹的外筒组成。空腹外筒由密排柱及高度较大的横梁组成。筒中筒结构体系具有更大的整体性与侧向刚度,因此适用于高度很大的建筑。如果将若干筒体组合成组筒结构体系,则侧向刚度更大,可适用于特别高的超高层建筑。

五、复杂高层结构

1. 带转换层的高层建筑结构

在高层建筑结构的底部,当上部楼层部分竖向构件,如剪力墙、框架柱不能直接连续贯通落地时,应设置结构转换层。在结构转换层布置转换结构构件。

转换结构构件可采用梁、桁架、空腹桁架、箱形结构、斜撑等;非抗震设计和6度抗震设计时转换构件,以及7、8度抗震设计的地下室的转换构件可采用厚板。

关于转换层的设置位置《高规》规定,底部大空间部分框支剪力墙高层建筑结构在地面以上的大空间层数,8度时不宜超过3层,7度时不宜超过5层,6度时其层数可适当增加;底部带转换层的框架-核心筒结构和外筒为密排柱的筒中筒结构,其转换层位置可适当提高。

2. 带加强层高层建筑结构

当框架-核心筒结构的侧向刚度不能满足设计要求时,可沿竖向利用建筑避难层、设备层空间,设置适宜刚度的水平伸臂构件,构成带加强层的高层建筑结构如图1-1所示。必要时,也可设置周边水平环带构件。

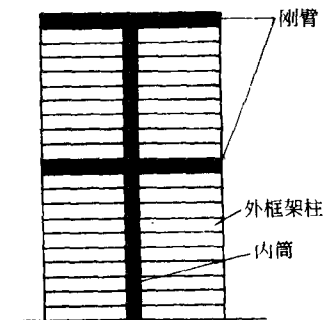


图1-1 带加强层的高层建筑结构

加强层采用的水平伸臂构件、周边环带构件可采用斜腹杆桁架、实体梁、整层或跨若干层高的箱形梁、空腹桁架等形式。

加强层的位置和数量要合理有效。当布置 1 个加强层时,位置可在 $0.6H$ 附近;当布置 2 个加强层时,位置可在顶层和 $0.5H$ 附近;当布置多个加强层时,加强层宜沿竖向从顶层向下均匀布置。

3. 错层结构

由于功能与建筑的需要,有时同一层房屋的楼板不在同一高度,而使楼层产生错层。抗震设计时,高层建筑宜避免错层。当抗震建筑中楼层错层时,宜采用防震缝划分为独立的结构单元,错层两侧宜采用结构布置和侧向刚度相近的结构体系。

错层结构中,错开的楼层应各自参加结构整体计算,不应归并为一层计算。

4. 多塔楼结构

两个或两个以上塔楼用裙房(底盘)相连组成多塔楼结构,以满足多种功能的需要,例如商住楼、商办楼以及宾馆等,由于其体型复杂,不仅增加了计算难度,尤应重视其平面及竖向布置,并应加强构造措施。

六、混合结构体系

由多种不同材料构件组成的结构体系称为混合结构体系。由于不同材料制成的构件有不同的特点,有其明显的优点,采用不同材料构件组成的混合结构体系,实际上是各种构件的优化组合。

钢筋混凝土构件、钢构件的性能众所周知,不再赘述。

钢管混凝土构件是有效利用混凝土的约束强度,在三向约束下,混凝土的抗压强度可比单向抗压强度提高数倍。正是利用这一特点,混凝土处于三向约束的钢管混凝土最适宜用于以受压为主的轴心受压或小偏心受压柱以及其他受压构件。钢管混凝土构件的重要优点是抗压强度高,延性好,浇灌混凝土时不需模板。广泛用于高层建筑的柱子、拱桥的受压拱圈,高层建筑与高耸结构的受压弦杆等。

型钢混凝土构件是在混凝土中主要配置型钢(包括轧钢型钢与焊接型钢)的构件。一般也配置一些构造钢筋及辅助受力钢筋。型钢混凝土可制作成柱、梁、剪力墙、筒体等。它们的特点是强度高、刚度大、断面小、延性与抗震性能好,防火性能好等。它可以和钢结构混合使用。例如下部若干层为型钢混凝土结构,上部为钢结构,以增大高层建筑的刚度,减少风荷载或水平地震作用于下的侧移。型钢混凝土结构也可和钢筋混凝土结构混合使用。例如核心筒为钢筋混凝土结构,外框架为型钢混凝土的框架-筒体结构。框架结构或框剪结构中也可下部数层用型钢混凝土结构、上部用钢筋混凝土结构。

《高规》中仅列出了钢框架-钢筋混凝土筒体结构与型钢混凝土框架-钢筋混凝土筒体两种混合结构体系的设计原则与方法。

七、高层建筑其他结构体系

高层建筑除了上述主要结构体系外,近年来随着建筑科学的发展以及经济建设,城市建筑发展新的要求,出现了一系列新的结构体系,其中有巨型框架结构、巨型桁架结构,悬挂和悬挑结构,隔震、减振结构等。目前采用这些结构体系的工程尚较少,经验不多,对于这些结构的研究也不够深入成熟,尚不能普遍推广于设计与施工中,因此目前的《高规》尚未列入规程。

至于目前用得也较多的板柱结构不应包括在《高规》的框架结构中。《高规》认为这类结构侧向刚度和抗震性能较差,不适宜用于高层建筑。

板柱-剪力墙结构的板柱是指无内部纵梁和横梁的无梁楼盖结构,但是体系中加入了剪力墙或井筒。主要由剪力墙或井筒承受侧向力,因此侧向刚度比单纯板柱结构有很大提高。《高规》中框架-剪力墙结构的设计一章(《高规》第8章)也包括了板柱-剪力墙结构的设计内容。但是《高规》指出这类建筑适用高度宜低于一般框架结构,因为震害表明这种结构形式,板柱部分破坏严重,包括板冲切破坏与柱的压坏。

至于异形柱结构,由于截面厚度较小(一般为180~300mm),而相对肢较长,这样异形柱构成的异形柱框架和普通框架的受力性能、破坏形态均不同。由于目前研究与应用经验尚较少,所以《高规》中也暂未列入,但是《高规》认为这样的结构一般只适用于非地震区及6、7度抗震设计的12层以下建筑中。目前这一类建筑的设计一般按照地方性规程参照《高规》及设计经验进行。

第四节 结 构 布 置

一、总体原则

《高规》4.1.2条规定高层建筑不应采用严重不规则的结构体系。并应具有必要的承载能力、刚度和变形能力;应避免因部分结构构件的破坏而导致整个结构丧失承载能力;对可能出现的薄弱部位,应采取有效措施予以加强。

《高规》4.1.3条规定高层建筑结构的竖向布置和水平布置宜采用合理刚度和承载能力分布,避免因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位;抗震建筑宜具有多道防线。

这两条规定即是强调了高层建筑概念设计的原则,宜采用规则结构,不应采用严重不规则的结构。所谓规则结构是指平面和立面体型规则,结构平面布置均匀对称并具有较好的抗扭刚度;结构竖向布置均匀,结构的刚度、承载能力和质量分布均匀,无突变。

在实际工程中,要完全达到上述要求而成为名副其实的规则结构往往非常困难,因此《高规》对于不规则的情况提出了一系列限制条文(下述)。若结构方案中仅有个别项目超过了条款中规定的“不宜”的限制条件,此结构虽属不规则结构,但仍可按《高规》有关规定进行计算,但采取相应的构造措施。若结构方案中有多项超过了条款中规定的“不宜”的限制条件,此结构属于特别不规则结构,应尽量避免。若结构方案有多项超过了条款中规定的“不宜”的限制条件,而且超过较多,或者有一项超过了条款中规定的“不应”的限制条件,则此结构属于严重不规则结构,这种结构方案不应采用,必须对结构方案进行调整。

无论采用何种结构体系,结构的平面和竖向布置都应使结构具有合理的刚度和承载力分布。规程的一些具体条款便是避免或限制结构因局部突变和扭转效应而形成薄弱部位。尽量使结构达到或接近刚度、质量及承载力,分布均匀,对称,接近于规则结构。如果出现明显的薄弱部位,则设计中应依据规程要求或专门研究采取有效的措施,增强抗震能力。不致因局部结构或构件的破坏导致整个结构的破坏甚至倒塌,框架抗震设计中“强柱弱梁,节点更强”的原则,即是出于这种考虑的具体体现。利用塑性铰耗能抗震时,希望出现梁铰体系,而不是出现柱铰体系。因为柱铰体系将易使结构形成可变体系而发生倒塌。局部柱过早破坏,会引起支承在其上的各梁、柱构件丧失承载功能。节点的过早破坏,将使与其连接的梁

柱构件以及其上各层构件均失去承载功能。在高层建筑中,多跨静定结构是不可取的,因为若某一柱因正常或偶然的原因(例如汽车撞击)破坏,将会引起整个结构的连续倒塌。规程中关于框架-剪力墙结构及框架-筒体结构的一些条款(《高规》8.1.4条,9.2.3条等)即是保证高层建筑结构具有多道防线。

二、房屋的适用高度

对高层建筑的高度限制,主要出于对房屋抗震性能与抗风能力等要求,因为超过规定高度限值,按常规设计方法,很难达到相关规程所规定的各项要求。即使勉强达到结构规范的要求,从技术、经济及建筑功能的角度分析也是明显不合理的。

高层建筑按适用高度分为 A 级与 B 级两类。A 级高度钢筋混凝土高度建筑是指目前数量最多,应用最广泛的建筑。凡是超过 A 级建筑高度限值的高层钢筋混凝土建筑属于 B 级。

A 级高度钢筋混凝土乙类和丙类高层建筑的适用高度列于表 1-1。具有较多短肢剪力墙的剪力墙结构的最大适用高度尚应符合《高规》第 7.1.2 条的规定。而比表 1-1 规定值应适当降低。7 度抗震设计时总高度不大于 100m,8 度抗震设计时,总高度不大于 60m。此外剪力墙或筒体承受的底部剪力、多层短肢剪力墙的剪力设计值、抗震等级、短肢剪力墙的纵筋最小配筋率等比一般剪力墙相应提高,轴压比、墙厚及其布置方式要求更严。

A 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度(m) 表 1-1

结 构 体 系		非抗震设计	抗 震 设 防 烈 度			
			6 度	7 度	8 度	9 度
框 架		70	60	55	45	25
框架-剪力墙		140	130	120	100	50
剪 力 墙	全部落地剪力墙	150	140	120	100	60
	部分框支剪力墙	130	120	100	80	不应采用
筒 体	框架-核心筒	160	150	130	100	70
	筒 中 筒	200	180	150	120	80
板柱-剪力墙		70	40	35	30	不应采用

表 1-1 中最大适用高度不适用于异形柱框架结构。部分框支剪力墙结构指地面上有部分框支剪力墙的剪力墙结构。不规则结构与建于Ⅳ类场地上的结构,最大适用高度应比表 1-1 中规定的值适当降低。甲类建筑,6、7、8 度时宜按本地区抗震设防烈度提高一度后查用表 1-1。9 度时应专门研究。

超过 A 级建筑高度的 B 级高层钢筋混凝土建筑的最大适用高度列于表 1-2。同样表中数值不适用于异形柱框架结构。同时,只适用于乙类和丙类高层建筑。甲类建筑 6、7 度时宜按本地区设防烈度提高一度后选用表 1-2 中的数值。8 度时应专门研究。不规则结构及建于Ⅳ类场地的建筑,最大适用高度应较表 1-2 中的数值适当降低。由于 B 级高度高层建筑的总高度限值比 A 类建筑有所放宽,因此其结构抗震等级以及有关计算和构造措施相应加严,反应在《高规》的其他条文之中。

B 级高度钢筋混凝土高层建筑的最大适用高度(m)

表 1-2

结 构 体 系		非抗震设计	抗震设防烈度		
			6 度	7 度	8 度
框架-剪力墙		170	160	140	120
剪 力 墙	全部落地剪力墙	180	170	150	130
	部分框支剪力墙	150	140	120	100
筒 体	框架-核心筒	220	210	180	140
	筒 中 筒	300	280	230	170

为了保证 B 级高度高层建筑的设计质量,抗震设计的 B 级高度高层建筑,需按有关行政法规的规定进行超限高层建筑的抗震审查复核。超过表 1-2 B 级高度的高层建筑,则应通过专门的审查、论证,补充多方面的计算分析,必须时进行相应的结构试验研究,采取专门的加强措施,才能予以实施。对于房屋高度超过表 1-1 规定的 A 级高层建筑最高限值的框架结构、板柱-剪力墙结构以及 9 度抗震设计的各类结构,因为研究成果与工程经验不足,故未列入 B 级高度高层建筑中。亦即对于上述结构应当严格限制在 A 级高度的限值内。

三、房屋的高宽比限值

对高层建筑最大高宽比的限制,是概念设计的又一重要体现,其目的是对结构刚度、整体稳定、承载能力和经济合理性的宏观控制。《高规》对于 A 级高度高层建筑与 B 级高度高层钢筋混凝土建筑,考虑抗震与非抗震,以及抗震设防烈度和结构体系的类型等因素分别给出了高层钢筋混凝土建筑最大高宽比的限值,列于表 1-3 及表 1-4。

A 级高度钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比

表 1-3

结 构 体 系	非抗震设计	抗震设防烈度		
		6 度、7 度	8 度	9 度
框架、板柱-剪力墙	5	4	3	2
框架-剪力墙	5	5	4	3
剪 力 墙	6	6	5	4
筒中筒、框架-核心筒	6	6	5	4

B 级高度钢筋混凝土高层建筑结构适用的最大高宽比

表 1-4

非 抗 震 设 计	抗震设防烈度	
	6 度、7 度	8 度
8	7	6

当建筑物的高宽比超过表 1-3 或表 1-4 的规定限值时,尽管单纯从力学及结构的分析来看刚度、稳定性是能达到要求的,但考虑到现有通用计算方法的精确性,为保证安全可靠,控制建筑物的高宽比是必要的。此外,在计算与构造方面采取了一系列加强措施,即使建筑物的刚度、稳定性得到了安全可靠的保障,但从经济的角度可能明显不合理。

表 1-3 的限值是通过大量调查,目前大多数常规 A 级高度高层建筑都能达到,各方面也

都能够接受,比较经济合理。对于 B 级高度高层建筑,由于规定了更严格的计算分析和构造措施要求,因此其高宽比限值比 A 级高度高层建筑略有放宽,而且不分结构体系类型。对于高宽比超限的高层建筑,需要经过专门审查。

复杂体型的高层建筑,计算高宽比时,一般按所考虑方向最小投影宽度计算,但突出建筑物平面很少的局部结构如电梯间、楼梯间等不应包括在计算宽度内。对于不宜采用最小投影宽度计算高宽比的情况,设计者可根据实际情况合理确定。带裙房的高层建筑,当裙房的面积和刚度相对于其上塔楼的面积和刚度较大时,计算高宽比时可仅考虑裙房的以上部分的房屋高度与宽度。

四、结构平面布置

高层建筑不应采用严重不规则的结构布置,当由于使用功能与建筑的要求,结构平面布置严重不规则时,应将其分割成若干比较简单、规则的独立结构单元。对于地震区的抗震建筑,简单、规则对称的原则尤为重要。高层建筑设计中的一个特点是,风荷载往往成为主要荷载。尤其沿海地区风力成为控制荷载。所以高层建筑宜选用风作用效应较小的平面形状,有利于抗风设计。对抗风有利的平面形状同样是简单规则的凸平面,如圆形、方形、正多边形、椭圆形等。有较多凹凸的复杂形状平面如 V 形、Y 形、H 形、弧形等对抗风极为不利,应尽量避免,特别是建于沿海地区的高层、超高层建筑应当慎重处理。

平面形状的选择极大地影响到结构的内力与变形,因此《高规》对结构的平面形状规定了一系列的限制。地震区的建筑不宜采用角部重叠的平面形状(如图 1-2a)或细腰形平面形状(如图 1-2b),因为这两种平面形状的建筑,中央部位都形成了狭窄、突变的部分,成为地震中最为薄弱的环节,容易发生震害。尤其在凹角部位产生应力集中极易开裂、破坏。对于这样的高层建筑在这些“细腰”的部位应当特别予以加强,如采用加大楼板厚度及配筋,配置斜钢筋以及设置集中配筋的边梁等。

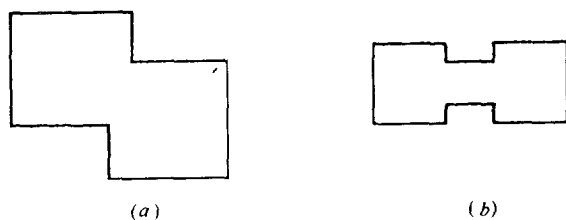


图 1-2 不宜采用的平面形状
(a)角部重叠;(b)细腰形

对于抗震建筑,矩形平面的长宽比以及其他非矩形建筑的凸出部位、凸出长度及长宽比,《高规》规定了一系列限制性的尺寸,如图 1-3 及表 1-5 所示。

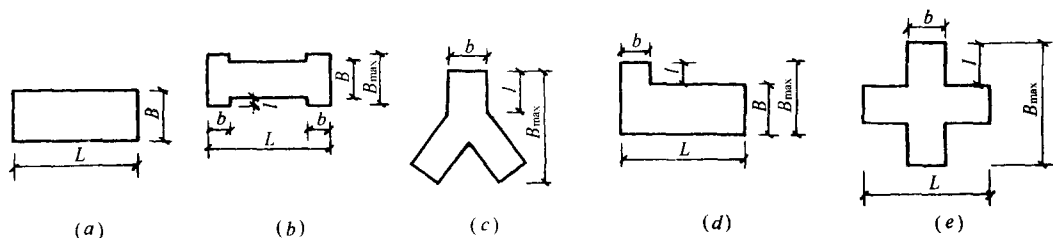


图 1-3 建筑平面形状

建筑平面尺寸的限值

表 1-5

设 防 烈 度	L/B	l/B_{max}	l/b
6,7 度	≤ 6.0	≤ 0.35	≤ 2.0
8,9 度	≤ 5.0	≤ 0.30	≤ 1.5

规定这些限值,主要出于防止建筑物局部或整体抗侧刚度太小;建筑物的刚度突变容易引起地震时,因局部动力反应特大以及应力集中而发生破坏;建筑物的刚度不均匀及偏心引起过大的扭矩,这对结构抗震十分不利。规程中对于这些限值,都采用了“宜”与“不宜”的限制性词语,这是考虑到在许多工程中要完全满足这些条件,往往是不现实的。相当一部分工程可能会发生这方面或那方面的突破。实际上高层建筑结构对上述限制某一方面略有突破时,采用加强设计计算与构造措施时,震害也是可以避免的。因此超过上述限值的高层建筑设计时对于它们的薄弱环节应特别予以重视。

抗震设计中对建筑物的扭转影响特别敏感。因此结构平面布置应注意平面刚度,质量分布均匀、对称等尽量减小偏心,减少扭转效应。《高规》4.3.5 条专门对高层建结构的扭转影响作了一系列的限制。对于 B 级高度高层建筑,混合结构高层建筑以及复杂结构高层建筑关于减小扭转影响的限制则更为严格。

楼面的削弱过大对于高层建筑结构非常不利。例如楼板凹入较大,楼板有较大的开洞。楼、电梯间因为各层间无楼板支撑,相当于楼板开洞。当“十”字形、井字形平面形状建筑,外伸长度较大,而中央部位楼电梯间使楼板受到较大削弱,这对高层建筑结构,特别是抗震设计时极为不利。因此《高规》4.3.6 条对楼板削弱进行了一系列限制。例如开洞尺寸不宜大于楼面宽度的一半;楼板开洞总面积不宜超过楼面面积的 30%;在扣除凹入或洞口后,楼板在任一方向的最小净宽度不宜少于 5m,且开洞后每一边楼板的净宽度不应小于 2m。

对于楼板有较大的削弱时,应该采取一系列的措施予以加强。这些措施包括:

- (1) 加厚洞附近楼板,提高楼板的配筋率,采用双层双向配筋或加配斜向钢筋;
- (2) 洞边缘设置边梁、暗梁;
- (3) 在楼板洞口角部集中配置斜向钢筋;
- (4) 外伸段凹槽处设置连接梁或连接板。

如前所述结构平面形状宜简单、规则。这主要应当通过结构的平面布置来达到。对于难于通过调整结构布置来实现上述目的的不规则平面,应当用防震缝将整个结构平面分割成若干比较简单规则的相对独立的结构单元。但是在可能情况下,应尽量不设或少设防震缝,因为设缝以后,给建筑结构及设备设计带来许多困难。基础防水也不容易处理。不设防震缝,必须从设计和施工等方面采取一系列的有效措施。

当设置防震缝时,根据房屋高度、建筑设防烈度,防震缝必须具有足够的宽度。宽度确定的原则是,当发生强烈地震时,相邻建筑或结构单元在处于最不利情况下,即发生相向震动,且顶部侧移达到最大(振幅)时,建筑物顶部及上部不致相撞而导致结构构件破坏、塌落以致造成人员伤亡。依据这些原则,《高规》4.3.10 条规定,框架结构,高度不超过 15m 时,最小宽度取 70mm,超过 15m 时,6 度、7 度、8 度和 9 度相应每增加高度 5m、4m、3m 和 2m,缝宽宜加宽 20mm。框架-剪力墙结构的缝宽按相应框架结构缝宽的 70% 采用。剪力墙结构按框架结构规定缝宽的 50% 采用。但二者均不宜小于 70mm。

防震缝两侧的结构体系不同时,缝宽按不利的结构类型确定。防震缝侧房屋高度不同时,则确定缝宽时应按低房屋的高度确定。这是因为高房屋的顶部并无与相邻房屋发生碰撞的可能。当相邻结构的基础存在较大的沉降差时,宜增加防震缝的宽度。

防震缝宜沿房屋全高设置,但是地下室、基础可不设防震缝,因为在房屋的底部,尤其是在地下部分,相邻结构不会产生太大的相对运动。

五、温度伸缩缝

由于气候的温度变化以及建筑物内外的温差,引起混凝土结构的胀缩以及胀缩差。当结构的膨胀收缩受到限制时,则产生温度应力。一般结构中,由于在总的内力中,温度应力所占比例很小,可以忽略不计。但是对于一些特殊环境和特殊功能的建筑结构,设计中必须考虑温度应力的影响,房屋长度(宽度)很大时,结构的温度胀缩受到约束。房屋越长,温度应力越大,当温度应力超过一定限值,将使房屋结构产生开裂。因此《高规》规定房屋沿其长度(宽度)一定距离设置伸缩缝,使结构在不是过长的温度缝区段内能比较自由地伸缩,以释放由于约束引起的温度应力,不致使房屋开裂。伸缩缝的间距跟建筑物的结构类型与施工方法有关,列于表 1-6。

伸缩缝最大间距

表 1-6

结构体系	施工方法	最大间距(m)	结构体系	施工方法	最大间距(m)
框架结构	现 浇	55	剪力墙结构	现 浇	45

对于框架-剪力墙结构建筑的伸缩缝间距可根据具体布置情况按上表中相应于框架结构与剪力墙结构伸缩缝最大间距之间的值取用。

对于下列情况,伸缩缝间距应适当减小:

- (1) 屋面无保温或隔热措施;
- (2) 混凝土收缩较大;
- (3) 室内结构因施工外露时间较长;
- (4) 位于气候干燥地区或夏季炎热且暴雨频繁地区。

采取了相应的构造措施减少温度和混凝土收缩的影响时,伸缩缝间距可较表 1-6 中之值适当放宽。

出于和设防震缝同样的原因,目前许多工程,采用后浇带等一系列设计及施工措施扩大伸缩缝间距,达到不设缝的目的,有的已超出上表规定值很多,效果良好。但在一般情况下还应遵守表 1-6 规定的限值。

六、结构竖向布置

结构竖向布置最基本的原则是规则、均匀。规则,主要是指体型规则,若有变化,亦应是有规则的渐变。体型沿竖向的剧变,将使地震时某些楼层变形特别集中,常常在该楼层因过大的变形而引起倒塌。

抗震设计时,竖向抗侧力构件应当上下连续贯通;否则结构将成为竖向不规则结构,这对抗震极为不利。许多震害表明,这样的结构大都会在此突变处发生严重破坏甚至倒塌。

均匀是指上下体形、刚度、承载力及质量分布均匀,以及它们的变化均匀。结构宜设计成刚度下大上小,自下而上逐渐减小。下层刚度小,将使变形集中在下部,形成薄弱层,严重的会引起建筑的全面倒塌。如果体形尺寸有变化,也应下大上小逐渐变化,不应发生过大的

突变。上部楼层收进变得体形较小的情况经常发生,但是对于收进的尺寸应当限制。收进的部位越高,收进后的平面尺寸越小,高振型的影响明显加大。如果上部楼层外挑(一般来说质量也将加大),造成“头重脚轻”的状况,将使扭转反应明显加大,竖向地震影响也明显变大。

鉴于上述原因《高规》对于竖向布置不规则、不均匀的情况规定了明确的限制。

《高规》规定高层建筑结构抗震设计时,楼层的侧向刚度不宜小于相邻上部楼层侧向刚度的 70% 或其上相邻三层侧向刚度平均值的 80%。

A 级高度高层建筑的楼层层间受剪承载力不宜小于其上一层受剪承载力的 80%, 不应小于其上一层受剪承载力的 65%; B 级高度高层建筑则要求更为严格, 要求楼层受剪承载力不应小于其上一层楼层受剪承载力的 75%。所谓楼层受剪承载力是指该层全部抗侧力构件(柱和剪力墙)在所考虑的水平地震作用方向受剪承载力之和。

为了保证结构竖向的规则性, 规程要求结构竖向抗侧力构件宜上、下连续贯通。如果达不到连续贯通的要求, 应按部分框支剪力墙结构体系、框支核心筒结构体系以及复杂结构体系的特殊要求进行设计处理。

对于结构上下有收进或挑出时,《高规》对于收进或挑出部分的尺寸限制如下:

上部楼层收进时, 且 $H_1/H > 0.2$ 时, 应有 $B_1/B \geq 0.75$;

上部楼层外挑时, 应有 $B/B_1 \geq 0.9$ 且 $a \leq 4\text{m}$ 。

H_1 、 H 、 B_1 、 B 及 a 表示各部尺寸如图 1-4 所示。

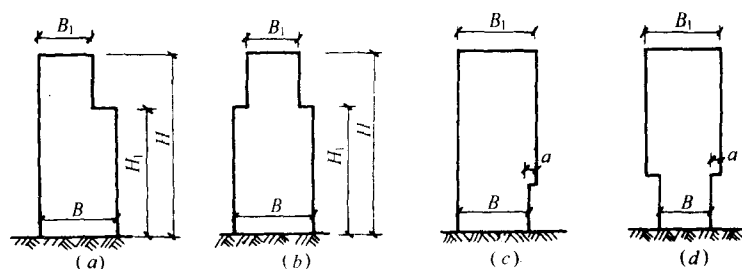


图 1-4 结构收进和外挑

第五节 其他重要规定

一、关于楼盖的规定

在目前的结构计算中一般都假定楼板在平面内的刚度为无限大, 这将大大简化计算分析。而在实际高层建筑中, 也要求具有足够的平面内刚度以保证建筑物的空间整体稳定性及有效传递水平力及水平地震作用。

前节关于限制楼面开洞、有较大的凹入以及对削弱处的各项加强措施, 也是出于上述同样目的。

《高规》规定, 房屋高度超过 50m 的框架-剪力墙结构、筒体结构及复杂高层结构应采用现浇楼盖结构, 剪力墙结构和框架结构也宜采用现浇楼盖结构。

房屋高度不超过 50m 的 8、9 度抗震设计的框架-剪力墙结构也宜采用现浇楼盖结构。6、7 度抗震设计的框架-剪力墙结构可以采用装配整体式楼盖。高度不超过 50m 的框架结